

①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑪ **DE 4008447 A1**

⑤1 Int. Cl. 5:
F02K 1/17
F 02 C 9/48
F 02 C 9/28

②1 Aktenzeichen: P 40 08 447.7
②2 Anmeldetag: 16. 3. 90
④3 Offenlegungstag: 27. 9. 90

DE 4008447 A1

③0 Unionspriorität: ③2 ③3 ③1
20.03.89 US 325723

⑦1 Anmelder:
General Electric Co., Schenectady, N.Y., US

⑦4 Vertreter:
Schüler, H., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat., Pat.-Anw., 6000
Frankfurt

⑦2 Erfinder:
Carpenter, Ronald Sheldon, Lynn, Mass., US;
Gazzola, William Lawrence, Salem, Mass., US

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Verfahren und Einrichtung zum Regeln eines Gasturbinentriebwerks

Eine Regeleinrichtung für ein Gasturbinentriebwerk empfängt ein Signal, das einen ersten Sollbetriebszustand des Triebwerks darstellt, und weiterhin ein Signal, das einen Istzustand des Triebwerks darstellt. Die Einrichtung erzeugt ein Fehlersignal, das die Differenz zwischen dem Sollwertsignal und dem Istzustandssignal des Triebwerks darstellt. Eine Verstärkungseinrichtung stellt die Verstärkung des Fehlersignals ein, um gleich der gewünschten Änderung in dem gesteuerten Triebwerksparameter zu sein. Die Ausgangsgröße der Verstärkungseinrichtung wird dann einem Stellglied des Triebwerks zugeführt, das den Parameter steuert.

DE 4008447 A1

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren und eine Einrichtung zum Regeln eines Gasturbinentriebwerks und insbesondere zum Regeln des Schubs in einem Gasturbinentriebwerk mit einer verstellbaren Abgasdüse.

In Gasturbinentriebwerken ist es üblicherweise wünschenswert, den Schub des Triebwerks zu regeln. Änderungen im Triebwerksschub können aus verschiedenen Gründen auftreten, wie beispielsweise aufgrund plötzlicher flüchtiger Senkungen des Schubs entsprechend temporären Senkungen des Turbinenwirkungsgrades. Beispielsweise können diese Wirkungsgradsenkungen nach Perioden plötzlicher Beschleunigung auftreten, in denen Unterschiede in der thermischen Expansion von Triebwerkskomponenten eine kurze Periode eines übermäßigen Spitzenspaltes zwischen der Triebwerksturbinen und dem Mantel zur Folge haben. Der Ausgangsschub eines Triebwerks verkleinert sich auch graduell mit der Zeit entsprechend der graduellen Verschlechterung von Komponenten in dem Triebwerk. Üblicherweise sorgt ein Triebwerkshersteller für eine adäquate Schubgrenze, die diese Abfälle im Schub gestatten und trotzdem sicherstellen, daß das Triebwerk gewisse minimale Schubwerte während der Lebensdauer des Triebwerkes bis zu einer Überholung erfüllt. Wenn ein Triebwerk mit maximalem Schub arbeitet, wird die Schubgrenze typisch dadurch erhalten, daß die Turbinentemperatur des Triebwerks isothermisch auf einem maximalen Wert gehalten wird, um so den notwendigen Schub zu liefern, während die Triebwerkskomponenten vor überhöhten Temperaturen geschützt werden. Indem die Turbinentemperatur isothermisch gehalten wird, arbeitet ein neues Triebwerk bei einer viel höheren Temperatur als notwendig, um den erforderlichen Schub zu liefern. Wenn jedoch die Turbinentemperatur isothermisch gehalten wird, werden der Schub und die Bläserarbeitslinie nicht konstant gehalten, wenn eine Verschlechterung bzw. Alterung auftritt. Wenn sich also das Triebwerk verschlechtert, wird schließlich die tatsächliche isothermisch gehaltene Temperatur erforderlich sein, um die minimalen gewünschten Maximalschubwerte zu erhalten. Somit muß über einen großen Teil seiner Lebensdauer das Triebwerk bei Temperaturen betrieben werden, die über derjenigen liegen, die zum Aufrechterhalten gewünschter Schubwerte erforderlich ist. Der erforderliche Betrieb bei diesen erhöhten Temperaturen hat eine viel schnellere Verschlechterung bzw. Alterung des Triebwerks zur Folge und erfordert deshalb häufigere Überholungen und höhere Betriebskosten. Eine Alternative dazu, die Turbinentemperatur isothermisch zu halten, sorgt für die Überwachung des Druckverhältnisses des Triebwerks. Zwar erfordern diese Druckverhältnis-Regelrichtungen nicht, daß die Triebwerkstemperatur über derjenigen gehalten wird, die erforderlich ist, um den gewünschten Schub beizubehalten, aber diese Systeme bzw. Einrichtungen erfordern die Verwendung von Drucksensoren, die zu den Triebwerken hinzugefügt werden müssen. Diese Sensoren bedeuten also erhöhte Kosten für das Triebwerk und zusätzlich haben diese Sensoren und zugeordnete Steuerungen zusätzliche Überlegungen bezüglich der Wartung und der Betriebssicherheit zur Folge, wodurch zusätzliche Komponenten zu dem Triebwerk hinzugefügt werden.

Eine erfindungsgemäße Regeleinrichtung für ein Gasturbinentriebwerk weist eine Einrichtung zum Empfangen eines Signals, das einen ersten Sollzustand des

Triebwerksbetriebs darstellt, und eine Einrichtung auf, die ein Signal empfängt, das einen tatsächlichen Triebwerkszustand darstellt. Die Einrichtung enthält auch ein Differenzglied zum Erzeugen eines Fehlersignals, das die Differenz zwischen dem Sollsignal und dem Istsignal für den Zustand des Triebwerks darstellt, und sie enthält eine Verstärkungs- bzw. Gewinneinrichtung zum Einstellen der Verstärkung des Fehlersignals, um gleich der gewünschten Änderung in dem geregelten Triebwerksparameter zu sein. Die Ausgangsgröße der Verstärkungseinrichtung wird einem Stellglied des Triebwerks zugeführt, das den Parameter steuert.

Weiterhin beinhaltet die Erfindung eine Regeleinrichtung für ein Gasturbinentriebwerk, das eine Einrichtung zum Empfangen eines Signals, das einen Sollzustand des Triebwerks darstellt, und eine Einrichtung aufweist zum Empfangen eines Signals, das den tatsächlichen oder Istzustand des Triebwerks darstellt. Ein Differenzglied erzeugt ein Fehlersignal, das die Differenz zwischen dem Sollzustand des Triebwerks und dem Istzustandssignal darstellt. Eine Gewinn- bzw. Verstärkungseinrichtung stellt die Verstärkung des Fehlersignals ein, um gleich einer gewünschten Veränderung in einer verstellbaren Triebwerkskomponente zu sein. Die Einrichtung enthält ferner Mittel zum Empfangen eines Signals, das eine Sollstellung für die einstellbare Triebwerkskomponente darstellt, und Mittel zum Zusammenfassen der Ausgangsgröße der Verstärkungseinrichtung mit der Einrichtung zum Empfangen eines Signals, das eine Sollstellung für die einstellbare Triebwerkskomponente darstellt, und die kombinierte Verstärkungseinrichtung und die Einrichtung für die Sollstellung der einstellbaren Triebwerkskomponente ist mit einem Stellglied des Triebwerks verbunden, das die einstellbare Triebwerkskomponente steuert.

Die Erfindung beinhaltet auch ein Verfahren zum Regeln eines Gasturbinentriebwerks, wobei ein Signal, das einen Triebwerkssollzustand darstellt, und ein Signal empfangen werden, das den tatsächlichen oder Istzustand des Triebwerks darstellt. Es wird ein Fehlersignal erzeugt, das die Differenz zwischen dem Sollzustand und dem Istzustand darstellt. Die Verstärkung bzw. der Gewinn des Fehlersignals wird eingestellt, um mit einer gewünschten Änderung in einer verstellbaren Triebwerkskomponente gleich zu sein. In weiteren Schritten wird ein Signal empfangen, das eine Sollstellung für die einstellbare Triebwerkskomponente darstellt, und der Ausgang der Verstärkungseinrichtung wird mit der Einrichtung zum Empfangen eines Signals verbunden, das eine Sollstellung für die einstellbare Triebwerkskomponente darstellt, und dann wird der Ausgang der kombinierten Verstärkungseinrichtung und der Einrichtung für die Sollstellung der einstellbaren Triebwerkskomponente mit einem Stellglied des Triebwerks verbunden, das die einstellbare Triebwerkskomponente steuert.

Die Erfindung wird nun mit weiteren Merkmalen und Vorteilen anhand der Beschreibung und Zeichnung von Ausführungsbeispielen näher erläutert.

Fig. 1 ist eine schematische Schnittdarstellung von einem Gasturbinentriebwerk, auf das sich die erfindungsgemäße Regeleinrichtung bezieht;

Fig. 2 ist ein schematisches Blockbild von einer Regeleinrichtung gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung;

Fig. 3 und 5 sind schematische Blockbilder von anderen Ausführungsbeispielen der erfindungsgemäßen Regeleinrichtung;

Fig. 4 ist ein Kurvenbild und stellt die Temperaturän-

derung über der Abgasdüsenfläche dar.

Zunächst sei auf Fig. 1 eingegangen, die ein Gasturbinentriebwerk 10 gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung zeigt. Das Gasturbinentriebwerk enthält einen ersten Verdichter 20, der eine stromabwärtige Strömung erzeugt, einen zweiten Verdichter 28, der stromabwärts von dem ersten Verdichter 20 angeordnet ist, einen Brennkammerbereich 32, der stromabwärts von dem zweiten Verdichter 28 angeordnet ist, erste und zweite Turbinen 36 bzw. 38, die stromabwärts von dem Brennkammerbereich 32 angeordnet sind, und eine verstellbare Schub- bzw. Abgasdüse 40, die stromabwärts von den ersten und zweiten Turbinen 36 bzw. 38 angeordnet ist. Eine Regeleinrichtung 50 empfängt Eingangssignale, wie beispielsweise von einem Temperatursensor 52, einem Bläserdrehzahlsensor 54 und einem Leistungspegelwinkel, und die Regeleinrichtung 50 hat Ausgangssignale, die die Stellung der verstellbaren Abgasdüse 40 und die Menge bzw. Stärke der Brennstoffströmung in den Brennkammerbereich 32 steuern.

In Fig. 2 ist eine Regeleinrichtung 200 ohne die durch die Erfindung erzielbaren Vorteile gezeigt, die teilweise die Stellung der verstellbaren Abgasdüse 40 steuern kann. Die Regeleinrichtung 200 hat eine Einrichtung zum Empfangen eines sich auf den Leistungspegelwinkel beziehenden Führungssignals 210 und eine Einrichtung zum Erzeugen eines sich auf die verstellbare Abgasdüse beziehenden Führungsgrößensignals 212 auf der Basis des Wertes des Signals, das von der Empfangseinrichtung 210 empfangen wird. Die Führungsgrößensignaleinrichtung 212 für die verstellbare Abgasdüse ist mit einer Einrichtung 214 zum Vereinigen von Signalen verbunden. Die Regeleinrichtung enthält auch eine Einrichtung zum Empfangen einer maximal zulässigen Triebwerksbetriebstemperatur 220, die mit einem Eingang eines ersten Differenzgliedes 222 verbunden ist. Eine Einrichtung zum Empfangen der tatsächlichen bzw. Istbetriebstemperatur 224 des Triebwerks ist ebenfalls mit einem Eingang des ersten Differenzgliedes 222 verbunden. Das erste Differenzglied 222 hat ein Mittel zum Erzeugen eines Temperaturfehlersignals, das eine Differenz des Signals, das von der Isttemperatur-Empfangseinrichtung 224 empfangen wird, minus des Signals darstellt, das von dem Mittel zum Empfangen der maximalen Temperatur 220 empfangen wird. Der Ausgang des ersten Differenzgliedes 222 ist mit einem Integrator 230 verbunden, und der Ausgang des Integrators 230 ist mit einem Eingang der Einrichtung 214 zum Vereinigen von Signalen verbunden. Die Signalvereinigungseinrichtung 214 hat einen Ausgang, der mit einem zweiten Differenzglied 240 verbunden ist, dessen Ausgang mit einem Satz von Reglern 242 verbunden ist, die wiederum mit einem Stellglied in Verbindung stehen, das die verstellbare Abgasdüse des Triebwerks 246 bewegt, und ein Triebwerkssensor 248, der die Stellung der verstellbaren Abgasdüse abtastet, ist mit einem Eingang des zweiten Differenzgliedes 240 verbunden.

Im Betrieb empfängt die Regeleinrichtung 200 ein Leistungspegelwinkel-Führungssignal durch die Einrichtung zum Empfangen des Leistungspegelwinkel-Signals 210, und die Einrichtung generiert ein Führungssignal für die verstellbare Abgasdüse auf der Basis des Leistungspegelwinkel-Signals. Typischerweise zeigt bei maximalen Schubpegeln, ohne Nachbrenner, die verstellbare Gasdüse an, daß die Düse in ihrer engsten bzw. schmalsten Stellung sein sollte. Das Führungssignal für die verstellbare Düse wird so eingestellt, daß das Trieb-

werk eine maximal zulässige Temperatur nicht überschreitet. Diese Einstellung wird durch ein Signal erhalten, das die Isttemperatur des Triebwerks darstellt, die von der Einrichtung zum Empfangen der Isttemperatur 224 empfangen wird, und ein Signal, das die maximal zulässige Betriebstemperatur des Triebwerks darstellt, wird durch die Einrichtung zum Empfangen der maximalen Betriebstemperatur 220 erhalten. Diese Signale werden dem Differenzglied 222 zugeführt, das ein Temperaturfehlersignal erzeugt, welches dem Integrator 230 zugeführt wird, der das Stellsignal liefert. Der Integrator 230 in der Einrichtung versucht, den Temperaturfehler auf Null zu drücken, und deshalb wird das Führungssignal für die variable Abgasdüse durch die Vereinigungseinrichtung 214 so eingestellt, daß das Triebwerk bei der maximal zulässigen Temperatur arbeitet. Das eingestellte Führungssignal für die verstellbare Abgasdüse wird dem Reglersatz zugeführt, der das Signal zur Steuerung der Abgasdüse durch das Stellglied 244 liefert. Das Stellglied verändert die Düsenstellung des Triebwerks 246, und der Fühler bzw. Sensor 248 liefert eine Rückführungsinformation bezüglich der Stellung der Abgasdüse. Deshalb regelt die Regeleinrichtung 200 das Triebwerk so, daß bei maximalem Schub, ohne Nachbrenner, die Triebwerkstemperatur so geregelt wird, daß sie gleich einem maximalen zulässigen Wert ist. Der Betrieb bei der maximal zulässigen Temperatur hat zur Folge, daß neue Triebwerke, die noch keinen verschlechterten Zustand haben, bei Temperaturen arbeiten, die viel höher als erforderlich sind, um benötigte Schubwerte zu erreichen. Wenn Triebwerke bei diesen erhöhten Temperaturen betrieben werden, hat dies eine viel schnellere Verschlechterung bzw. Alterung des Triebwerks zur Folge, so daß häufigere Überholungen und größere Betriebskosten entstehen.

In Fig. 3 ist ein Ausführungsbeispiel der Erfindung gezeigt, bei dem ein Teil einer Regeleinrichtung 300 zum Teil die Stellung der verstellbaren Abgasdüse steuert. Die Regeleinrichtung 300 enthält eine Einrichtung zum Empfangen einer Sollbetriebstemperatur 320 des Triebwerks, die einem Eingang eines ersten Differenzgliedes 322 zugeführt wird. Eine Einrichtung zum Empfangen der Istbetriebstemperatur 324 des Triebwerks ist ebenfalls mit einem Eingang des ersten Differenzgliedes 322 verbunden. Das erste Differenzglied 322 enthält Mittel zum Erzeugen eines Temperaturfehlersignals, das eine Differenz des Signals, das von der Isttemperatur-Empfangseinrichtung 324 minus dem Signal, das von der Einrichtung zum Empfangen der Solltemperatur 320 empfangen wird, darstellt. Der Ausgang des ersten Differenzgliedes ist mit einer Verstärkungseinrichtung 330 verbunden, deren Ausgangsgröße einem ersten Reglersatz 332 zugeführt wird.

Der Ausgang des ersten Reglersatzes 332 ist mit einer ersten Einrichtung 334 zum Verknüpfen von Signalen verbunden. Eine Einrichtung zum Empfangen eines Sollstellungssignales 336 für die verstellbare Düse ist ebenfalls mit einem Eingang der zweiten Signalvereinigungseinrichtung 334 verbunden. Der Ausgang der ersten Signalvereinigungseinrichtung 334 ist mit einem Eingang eines zweiten Differenzgliedes 340 verbunden, deren Ausgangsgröße einem zweiten Reglersatz 342 zugeführt wird, und deren Ausgangsgröße wird einem Stellglied 344 zugeführt, das die verstellbare Abgasdüse eines Triebwerks 346 verändert bzw. verstellt, und ein Triebwerkssensor 348, wie beispielsweise ein linearer Differentialtransformator, der die Stellung der Düse abtastet, ist mit einem Eingang des zweiten Differenzgliedes

des 340 verbunden.

Die Regeleinrichtung wird typisch durch eine digitale elektronische Regelung (DEC) oder eine digitale elektronische Regelung voller Autorität (FADEC) implementiert. Die Einrichtung zum Empfangen einer Sollbetriebstemperatur 320 des Triebwerks empfängt typisch zahlreiche Eingangssignale, wie beispielsweise die Bläse-einlaßtemperatur und den Umgebungsdruck. Diese Eingangssignale werden typisch mit einem Programm für ein nicht gealtertes Triebwerk verglichen, und auf der Basis des Programms wird eine Sollbetriebstemperatur des Triebwerks erhalten. Das Programm wird typisch unter Verwendung eines Triebwerkleistungsmodells erhalten, um die Leistungsfähigkeit unter sich verändernden Bedingungen zu prüfen. Alternativ kann eine einstellbare Steuerung verwendet werden, um die tatsächliche Leistungsfähigkeit des Triebwerks zu analysieren.

Die Einrichtung zum Empfangen einer Sollstellung 336 der verstellbaren Abgasdüse empfängt typisch ebenfalls zahlreiche Eingangssignale, wie beispielsweise die Bläse-einlaßtemperatur und den Umgebungsdruck. Die Eingangssignale werden typisch mit einem Programm für ein neues, noch nicht gealtertes Triebwerk verglichen, und auf der Basis des Programms wird eine Sollstellung der Triebwerksabgasdüse erhalten. Somit wird ähnlich dem Temperaturprogramm das Stellungsprogramm für die verstellbare Abgasdüse ebenfalls unter Verwendung eines Zyklusmodells oder durch Analysieren der tatsächlichen Leistungsfähigkeit des Triebwerks erhalten.

Die Einrichtung zum Empfangen der Istbetriebstemperatur des Triebwerks ist ebenfalls vorzugsweise ein Eingang der elektronischen Regelung, der Ausgangsgrößen von Temperatursensoren des Triebwerks erhält. Typisch wird die Ausgangstemperatur der zweiten Turbine 38, wie sie in Fig. 1 gezeigt ist, oder einer Niederdruckturbinentemperatur abgetastet. Wie in Fig. 3 gezeigt ist, kann die Einrichtung zum Empfangen der tatsächlichen Betriebstemperatur 324 des Triebwerks mit einer Temperaturvorhalte-Kompensationsschaltung 360 verbunden sein, die Verzögerungen in der Temperaturabtastung kompensiert, und die Ausgangsgröße der Vorhaltekomensationsschaltung wird dem ersten Differenzglied 322 zugeführt.

Die Verstärkungseinrichtung 330 ist typisch so gewählt, daß sie für einen konstanten Schub sorgt. Die Verstärkung basiert auf Triebwerksdaten oder Vorhersagen für den Betriebszyklus, die dazu verwendet werden zu ermitteln, wieviel bzw. wie weit die Stellung der veränderbaren Abgasdüse öffnen muß bei einer Erhöhung der Triebwerkstemperatur, um den Schub konstant zu halten. Wie in Fig. 4 gezeigt ist, kann ein Triebwerk getestet werden, um eine Linie konstanten Schubes zu ermitteln, aus der die Steigung entnommen werden kann, um die geeignete Verstärkung zu erhalten. Beispielsweise kann für eine Temperaturänderung oberhalb der Solltemperatur in Grad Celsius (Grad Fahrenheit) über einer Stellungsänderung der variablen Düse in cm^2 (Zoll²) die Linie konstanten Schubes eine Steigung von etwa $1,3 \text{ cm}^2/^{\circ}\text{C}$ ($0,097$ in $^2/^{\circ}\text{F}$) haben, und deshalb würde die Verstärkung $1,3$ ($0,097$) sein. Es sei jedoch darauf hingewiesen, daß die Verstärkung auch eine komplexe Funktion oder ein Programm sein kann, das verschiedene Eingangsgrößen erfordert, die sich auf Triebwerkszustände beziehen, um die richtige Verstärkung bei einem gegebenen Satz von Zuständen zu erhalten.

Im Betrieb empfängt die Regeleinrichtung 300 ein Signal, das die Isttemperatur des Triebwerks darstellt, von der Einrichtung zum Empfangen der Isttemperatur 324, und dieses Signal wird durch die Voreilungskompensationsschaltung 360 verarbeitet, um Verzögerungen in der Temperaturabtastung zu kompensieren. Ein Signal, das die Sollbetriebstemperatur für ein Basistriebwerk darstellt, wird durch die Einrichtung zum Empfangen der Solltemperatur 320 des Triebwerks erhalten. Ein erstes Differenzglied 322 erzeugt ein Temperaturfehlersignal, das die Differenz zwischen der Isttemperatur des Triebwerks und der Solltemperatur darstellt. Dieses Temperaturfehlersignal wird der Verstärkungseinrichtung 330 zugeführt, die den Wert des Fehlersignals einstellt, um ein Signal zu liefern, das eine proportional entsprechende Änderung in der verstellbaren Abgasdüse darstellt. Die Ausgangsgröße der Verstärkungseinrichtung 330 wird dem ersten Reglersatz 332 zugeführt, der eine Kompensation liefert, um eine Stabilität sicherzustellen, die durch übliche Techniken erhalten wird, während die entsprechende Verstärkung beibehalten wird. Die Einrichtung zum Empfangen eines Sollstellungssignals 336 für die verstellbare Abgasdüse liefert ein Signal, das eine Sollstellenstellung darstellt für ein Basis- oder Standard-Triebwerk, wie beispielsweise ein neues Triebwerk. Dieses Sollwertsignal für die verstellbare Abgasdüse wird dann dem Eingang des ersten Reglersatzes über die erste Signalvereinigungseinrichtung 334 zugeführt. Die Ausgangsgröße der ersten Signalvereinigungseinrichtung 334 bildet ein Abgasdüsensteuersignal auf der Basis der Sollstellung, das durch die Differenz zwischen der Ist- und der Solltemperatur eingestellt wird. Die Ausgangsgröße der Verknüpfungseinrichtung 334 wird dem zweiten Reglersatz 342 zugeführt, der das Signal zur Steuerung der Abgasdüse durch das Stellglied 344 liefert, das die Stellung der Triebwerkskomponente 346 einstellt, und der Triebwerkssensor 348 liefert eine Rückführungsinformation, die sich auf die Stellung der Abgasdüse bezieht, wobei dieses Rückführungssignal dann von dem Sollsignal durch das zweite Differenzglied 340 subtrahiert wird.

Die Einrichtung gemäß Fig. 3 hat mehrere Vorteile gegenüber der Einrichtung gemäß Fig. 2. Die Einrichtung gemäß Fig. 3 wird nicht kontinuierlich auf der maximal zulässigen Temperatur betrieben. Vielmehr wird das Triebwerk so geregelt, daß es einen konstanten Schub beibehält. Dies hat zur Folge, daß das Triebwerk während eines großen Teils seiner betrieblichen Lebensdauer auf wesentlichen gesenkten Temperaturen arbeitet, und wenn sich das Triebwerk graduell verschlechtert bzw. es altert, nimmt die Triebwerksbetriebsstemperatur zu und die verstellbare Abgasdüse ändert sich bzw. weicht von seiner Nominalstellung ab, um einen konstanten Schub zu liefern. Typisch würde das Triebwerk gemäß der Erfindung überholt werden, wenn die Betriebstemperatur die maximale Betriebstemperatur erreicht, wobei dies diejenige Temperatur ist, bei der das Triebwerk gemäß Fig. 2 normalerweise arbeitet. Indem das Triebwerk bei gesenkten Temperaturen arbeitet, hat dies längere Betriebstemperaturen zwischen Überholungen zur Folge, und deshalb werden die Betriebskosten gesenkt. Ferner kann im Gegensatz zur Einrichtung gemäß Fig. 2 die Einrichtung gemäß Fig. 3 durch das Arbeiten bei konstantem Schub plötzliche flüchtige Abfälle in dem Triebwerkswirkungsgrad kompensieren. Diese Vorteile werden ohne zusätzliche Sensoren oder zugeordnete Steuerungen erhalten, vielmehr

werden die Sensoren und Systeme verwendet, die typischerweise in einem Gasturbinentriebwerk benutzt werden.

In Fig. 5 ist ein weiteres Ausführungsbeispiel der Erfindung gezeigt, bei dem ein Abschnitt einer Regeleinrichtung 500 teilweise die Stellung der verstellbaren Schubdüse 40 steuert. Die Regeleinrichtung 50 weist eine Einrichtung zum Empfangen eines Leistungspegelwinkel-Führungssignals 510 und eine Einrichtung auf zum Erzeugen eines Führungssignals 512 für die verstellbare Schubdüse auf der Basis des Leistungspegelwinkel-Signals 510. Die Regeleinrichtung 500 weist ferner eine Einrichtung zum Empfangen einer Sollbetriebsstemperatur 520 des Triebwerks auf, die einem Eingang eines Differenzgliedes 521 zugeführt ist. Eine Einrichtung zum Empfangen der tatsächlichen bzw. Isttemperatur 524 ist mit einem weiteren Eingang des Differenzgliedes 522 verbunden. Der Ausgang des ersten Differenzgliedes 522 ist mit einer Verstärkungseinrichtung 530 verbunden, deren Ausgang mit einem ersten Reglersatz 532 in Verbindung steht. Der Ausgang des ersten Reglersatzes 532 ist mit einem Vereinigungs- und Differenzglied 533 verbunden. Eine Einrichtung 536 zum Empfangen einer Sollstellung der verstellbaren Abgasdüse und der Ausgang der Signaleinrichtung 512 für die verstellbare Abgasdüse sind ebenfalls mit Eingängen des Vereinigungs- und Differenzgliedes 533 verbunden, das die Ausgangsgrößen des ersten Reglersatzes 532 und die Düsensollstellung 536 addiert und das Signal der Einrichtung 512 für die verstellbare Abgasdüse subtrahiert. Der Ausgang des Vereinigungs- und Differenzgliedes 533 ist mit einem Eingang eines verstärkten Brennstoffdifferenzgliedes 537 verbunden, dessen Ausgang mit einer verstärkten Brennstoffsteuerung des Triebwerks (WFR) in Verbindung steht und sowohl der Ausgang des Brennstoffdifferenzgliedes 537 und ein Ausgang der Signaleinrichtung 512 für die verstellbare Abgasdüse sind mit einem zweiten Differenzglied 540 verbunden, dessen Ausgang mit einem zweiten Reglersatz 542 verbunden ist, dessen Ausgang seinerseits mit einem Stellglied 544 in Verbindung steht, das die verstellbare Abgasdüse des Triebwerks 546 bewegt bzw. verstellt, und ein Triebwerkssensor 548, wie beispielsweise ein linearer Differentialtransformator, der die Stellung der Düse abtastet, ist mit einem Eingang des Brennstoffdifferenzgliedes 537 verbunden, das die Ausgangsgröße des Vereinigungs- und Differenzgliedes 533 von der Ausgangsgröße des Triebwerkssensors 548 subtrahiert.

Die Regeleinrichtung gemäß Fig. 5 ist typisch in ähnlicher Weise wie das vorhergehende Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 3 implementiert, und im Betrieb empfängt die Regeleinrichtung 50 ein Leistungspegelwinkel-(PLA)-Führungssignal durch die Einrichtung zum Empfangen des PLA-Signals 510 und die Einrichtung generiert dann ein Führungssignal für die verstellbare Abgasdüse auf der Basis des Leistungspegel-Winkelsignals. Typischerweise zeigt bei maximalen Schubwerten ohne einen Nachbrenner die verstellbare Abgasdüse an, daß die Düse in ihrer schmalsten bzw. engsten Stellung sein sollte. Dieses Signal wird dann eingestellt, um die Triebwerkstemperatur zu kompensieren, wenn ein Signal, das die Isttemperatur des Triebwerks darstellt, von der Einrichtung zum Empfangen der Isttemperatur 524 empfangen wird, und ein Signal, das die Sollbetriebsstemperatur des Triebwerks darstellt, wird von der Einrichtung 520 zum Empfangen der Solltemperatur des Triebwerks erhalten. Diese Signale werden dem ersten Differenz-

glied 522 zugeführt, die Verstärkungseinrichtung sorgt für die entsprechende Einstellung des Signals für die proportionale Änderung in der Einstellung der verstellbaren Abgasdüse, der erste Reglersatz liefert eine erforderliche Kompensation, um eine Stabilität sicherzustellen und das Vereinigungs- und Differenzglied 533 vereinigt die Ausgangsgröße der Einrichtung 536 zum Empfangen einer Sollstellung der verstellbaren Abgasdüse des ersten Reglersatzes 532 und der Signaleinrichtung 512 für die verstellbare Abgasdüse. Die Ausgangsgröße des Vereinigungs- und Differenzgliedes 533 wird von der Ausgangsgröße des Triebwerkssensors 548 subtrahiert, wobei das Glied 537 dann ein Signal für die verstärkte Brennstoffsteuerung (Nachbrenner) liefert. Dieses Nachbrenner-Brennstoffsignal wird weiterhin von der Ausgangsgröße der Signaleinrichtung 512 für die verstellbare Abgasdüse subtrahiert, wodurch das Abgasdüsen-Steuersignal entsteht, das durch den zweiten Reglersatz verarbeitet wird, um die Abgasdüse durch das Stellglied 544 zu steuern.

Somit regelt die Regeleinrichtung gemäß Fig. 5 auch die Abgasdüsenstellung, um einen konstanten Schub beizubehalten auf der Basis von Abweichungen von Sollwerten von Charakteristiken, beispielsweise neuen, noch nicht abgenutzten Triebwerken. Es sollte beachtet werden, daß zwar die Stellung des Leistungspegelwinkels (PLA) eine Eingangsgröße in die Nachbrenner-Brennstoffsteuerung bildet, aber bei maximalem Schub die Abgasdüsenstellung nicht von dem Leistungspegelwinkel abhängig ist. Wie in dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 3 tastet typisch die Regeleinrichtung die Stellung bzw. den Wert des Leistungspegelwinkels ab und aktiviert die Regeleinrichtung gemäß Fig. 5, wenn der Leistungspegelwinkel für einen maximalen Schub eingestellt ist.

Vorstehend wurden zwar gewisse bevorzugte Merkmale der Erfindung beschrieben. Es sind jedoch noch weitere Ausführungsbeispiele möglich. Beispielsweise kann die Steuereinrichtung andere Triebwerkskomponenten steuern, wie beispielsweise einen variablen Kern, und in diesem Falle würden die Programme und Verstärkungseinrichtungen sich in entsprechender Weise ändern, indem sie beispielsweise eine Sollkernstellung aufweisen. Die Einrichtungskomponenten gemäß der Erfindung können auch durch entweder getrennte Komponenten oder durch Komponenten eines einzelnen Programms implementiert werden.

Patentansprüche

1. Regeleinrichtung für ein Gasturbinentriebwerk, gekennzeichnet durch:

eine Einrichtung (220) zum Empfangen eines Signals, das einen ersten Sollbetriebszustand des Triebwerks darstellt,

eine Einrichtung (224) zum Empfangen eines Signals, das einen Istzustand eines Triebwerks darstellt,

ein Differenzglied (222) zum Erzeugen eines Fehlersignals, das die Differenz zwischen dem Sollsignal und dem Istsignal des Betriebszustands darstellt,

eine Verstärkereinrichtung (230) zum Einstellen der Verstärkung des Fehlersignals, um der gewünschten Änderung in dem gesteuerten Betriebsparameter gleich zu sein, und

Mittel zum Verbinden des Ausgangs der Verstärkungseinrichtung (230) mit einem Stellglied (244)

des Triebwerks (246), das den Parameter steuert.

2. Regeleinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung (224) zum Empfangen eines Signals, das den Istzustand des Triebwerks darstellt, eine Einrichtung zum Empfangen der Isttemperatur des Triebwerks ist.

3. Regeleinrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung (224) zum Empfangen der Isttemperatur des Triebwerks eine Einrichtung zum Empfangen der Temperatur der Niederdruckturbine ist.

4. Regeleinrichtung nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch eine Einrichtung (212) zum Empfangen eines Signals, das eine Sollstellung für den gesteuerten Parameter darstellt, und eine Einrichtung (214) zum Vereinigen der Ausgangsgröße der Verstärkungseinrichtung (230) mit der Einrichtung (212) zum Empfangen eines Signals, das eine Sollstellung für den gesteuerten Parameter erstellt.

5. Regeleinrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung (212) zum Empfangen eines Signals, das eine Sollstellung für den gesteuerten Parameter darstellt, eine Einrichtung zum Empfangen eines Signals ist, das eine Sollstellung für eine verstellbare Abgasdüse in einem Triebwerk darstellt.

6. Regeleinrichtung für ein Gasturbinentriebwerk mit einer verstellbaren Abgasdüse, gekennzeichnet durch:

eine Einrichtung (320) zum Empfangen eines Signals, das eine Solltemperatur des Triebwerks darstellt,

eine Einrichtung (360) zum Empfangen eines Signals, das die Isttemperatur eines Triebwerks darstellt,

ein Differenzglied (322) zum Erzeugen eines Fehlersignals, das die Differenz zwischen dem Solltemperatursignal und dem Isttemperatursignal darstellt,

eine Verstärkungseinrichtung (330) zum Einstellen der Verstärkung des Fehlersignals, um der gewünschten Änderung in der Stellung einer verstellbaren Abgasdüse gleich zu sein eine Einrichtung (336) zum Empfangen eines Signals, das eine Sollstellung für die verstellbare Abgasdüse darstellt, und eine Einrichtung (334) zum Vereinigen der Ausgangsgröße der Verstärkungseinrichtung (330) mit der Einrichtung (336) zum Empfangen eines Signals, das eine Sollstellung für die verstellbare Abgasdüse darstellt, wobei die zusammengefaßte Verstärkungseinrichtung (330) und die Sollstellungseinrichtung (336) für die verstellbare Abgasdüse mit einem Stellglied (344) des Triebwerks verbunden sind, das die verstellbare Abgasdüse steuert.

7. Regeleinrichtung nach Anspruch 6 dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung (360) zum Empfangen der Isttemperatur des Triebwerks eine Einrichtung zum Empfangen der Temperatur der Niederdruckturbine ist.

8. Regeleinrichtung für ein Gasturbinentriebwerk, gekennzeichnet durch:

eine Einrichtung zum Empfangen eines Signals, das einen Sollzustand des Triebwerks darstellt,

eine Einrichtung (524) zum Empfangen eines Signals, das einen Istzustand des Triebwerks darstellt,

ein Differenzglied (522) zum Erzeugen eines Fehlersignals, das die Differenz zwischen dem Sollzu-

standssignal und dem Istzustandssignal des Triebwerks darstellt,

eine Verstärkungseinrichtung (530) zum Einstellen der Verstärkung des Fehlersignals, um einer gewünschten Änderung in einer einstellbaren Triebwerkskomponente gleich zu sein, eine Einrichtung (536) zum Empfangen eines Signals, das eine Sollstellung für die einstellbare Triebwerkskomponente darstellt,

eine Einrichtung (533) zum Verbinden des Ausgangs der Verstärkungseinrichtung (530) mit der Einrichtung (536) zum Empfangen eines Signals, das eine Sollstellung für die einstellbare Triebwerkskomponente darstellt, wobei die verbundene Verstärkungseinrichtung (530) und die Sollstellungseinrichtung (536) für die einstellbare Triebwerkskomponente mit einem Stellglied (544) des Triebwerks verbunden sind, das die einstellbare Triebwerkskomponente steuert.

9. Regeleinrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Sollzustand des Triebwerks eine Triebwerkstemperatur ist und der Istzustand des Triebwerks eine Isttemperatur des Triebwerks ist.

10. Regeleinrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung (524) zum Empfangen einer Isttemperatur des Triebwerks eine Einrichtung zum Empfangen der Temperatur der Niederdruckturbine ist.

11. Regeleinrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die einstellbare Triebwerkskomponente eine verstellbare Abgasdüse ist.

12. Verfahren zum Regeln eines Gasturbinentriebwerks, gekennzeichnet durch:

Empfangen eines Signals, das einen Sollzustand des Triebwerks darstellt,

Empfangen eines Signals, das einen Istzustand des Triebwerks darstellt,

Erzeugen eines Fehlersignals, das die Differenz zwischen dem Sollzustandssignal und dem Istzustandssignal darstellt,

Einstellen der Verstärkung des Fehlersignals, um gleich einer gewünschten Änderung in einer einstellbaren Triebwerkskomponente zu sein,

Empfangen eines Signals, das eine Sollstellung für die einstellbare Triebwerkskomponente darstellt,

Vereinigen der Ausgangsgröße der Verstärkungseinrichtung mit der Einrichtung zum Empfangen eines Signals, das eine Sollstellung für die einstellbare Triebwerkskomponente darstellt,

Zuführen der Ausgangsgröße der vereinigten Verstärkungseinrichtung und der Sollstellungseinrichtung für die einstellbare Triebwerkskomponente zu einem Stellglied des Triebwerks, das die einstellbare Triebwerkskomponente steuert.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

— Leerseite —

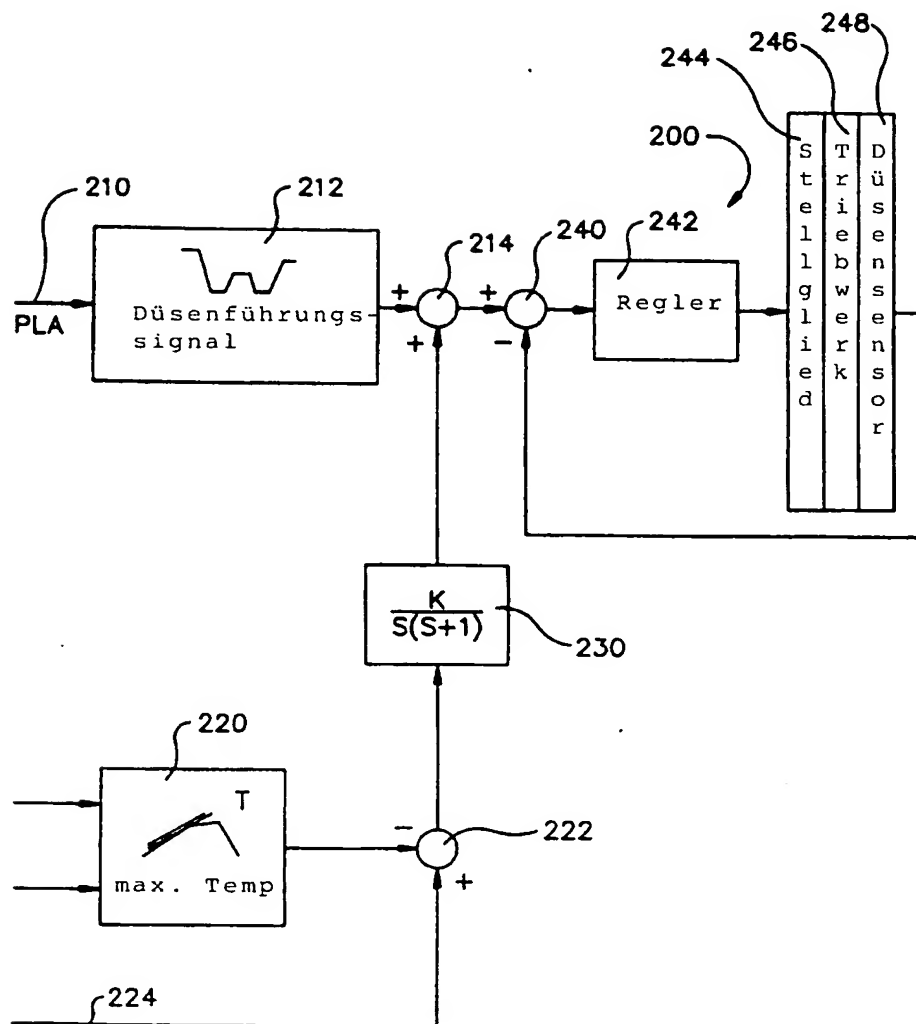


FIG. 2

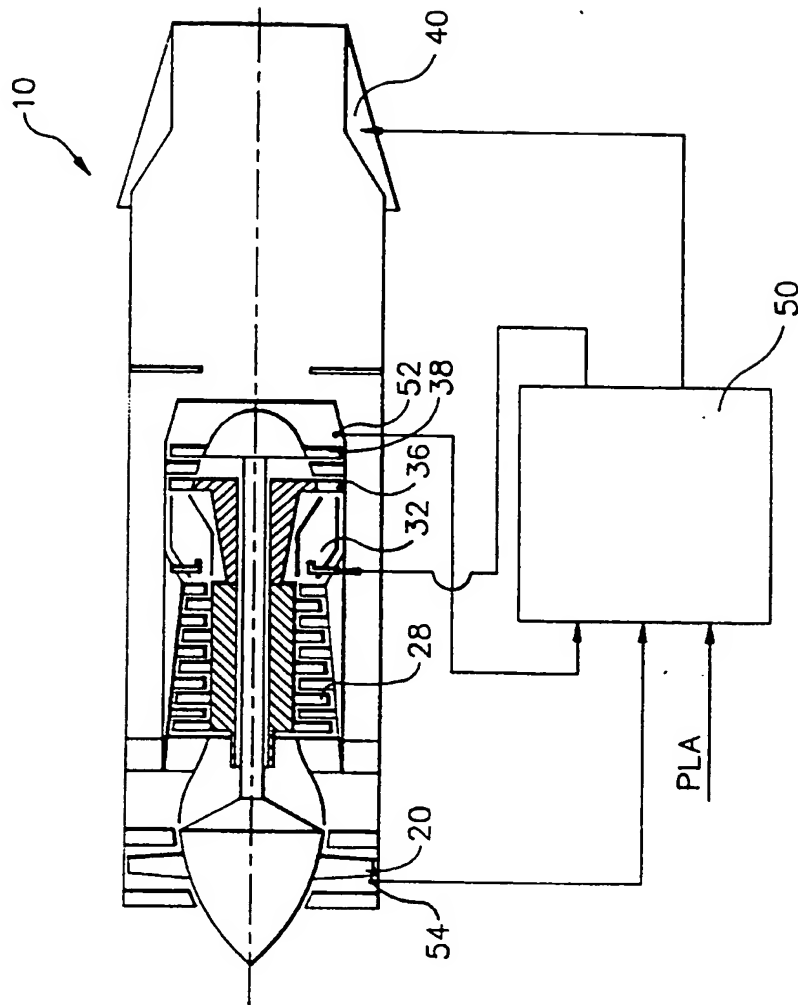


FIG. 1

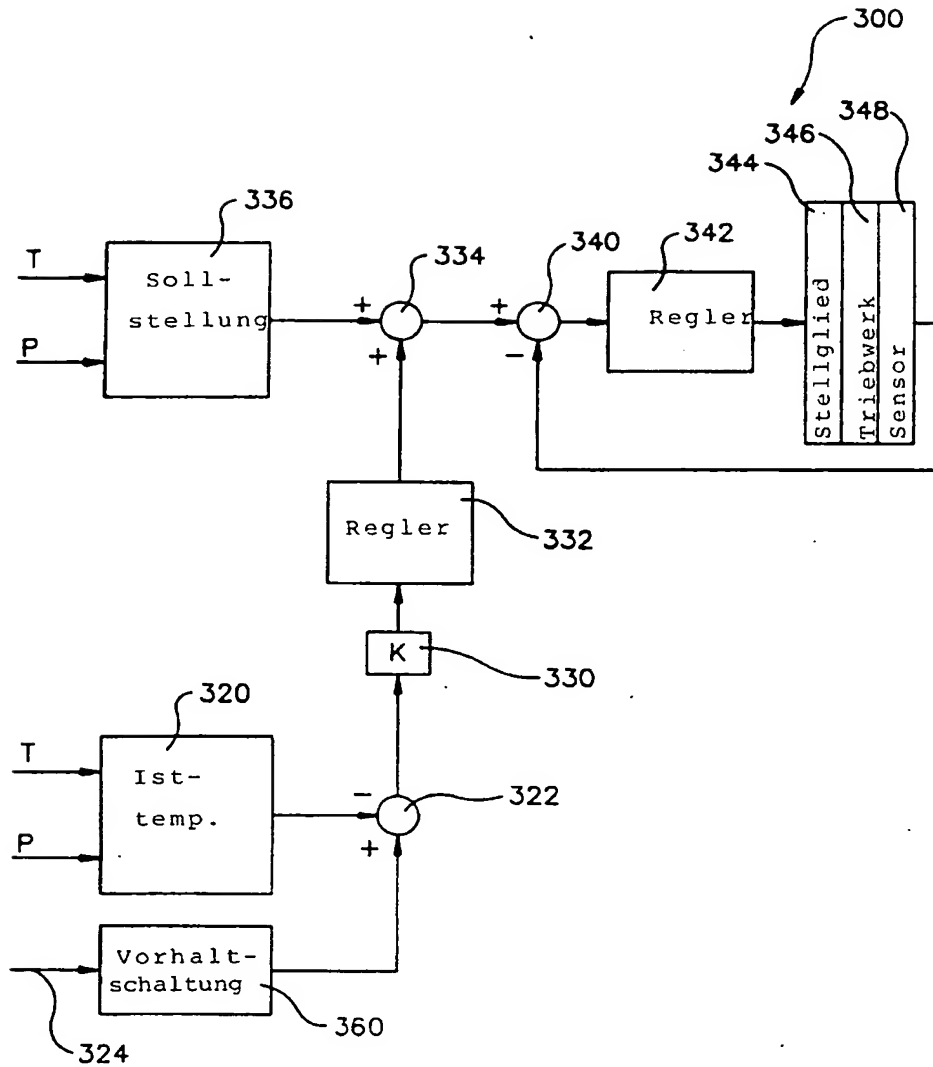


FIG. 3

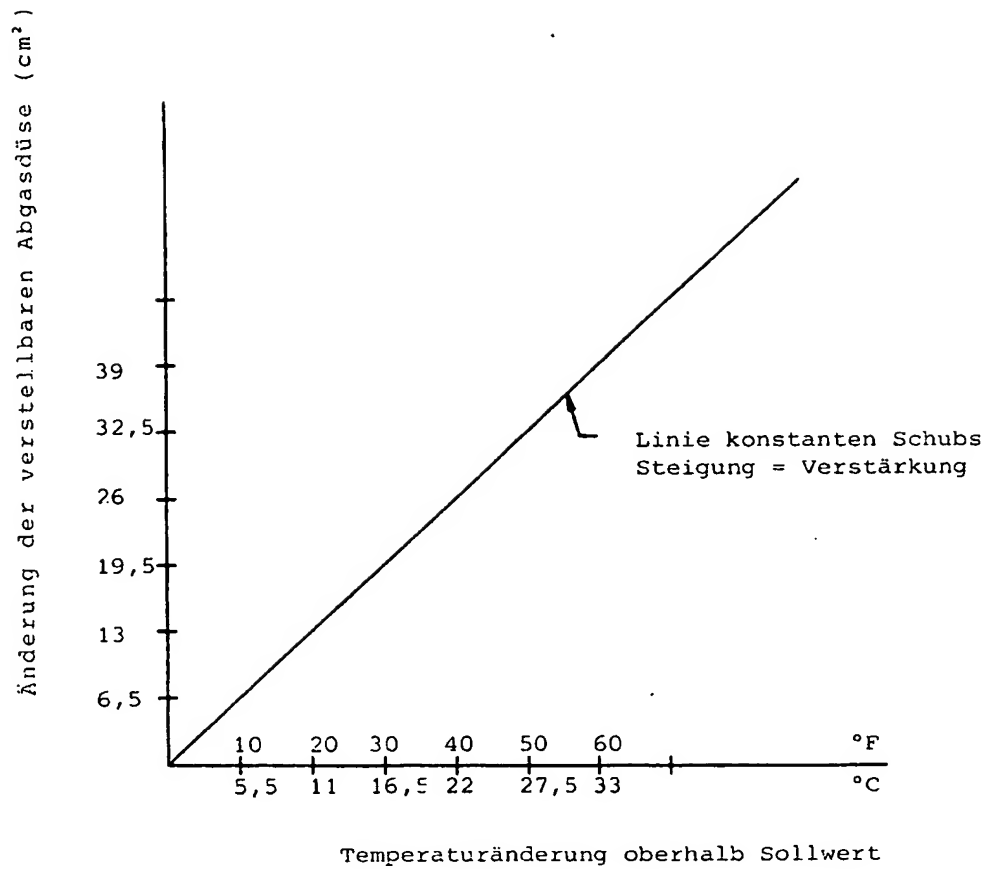


FIG. 4

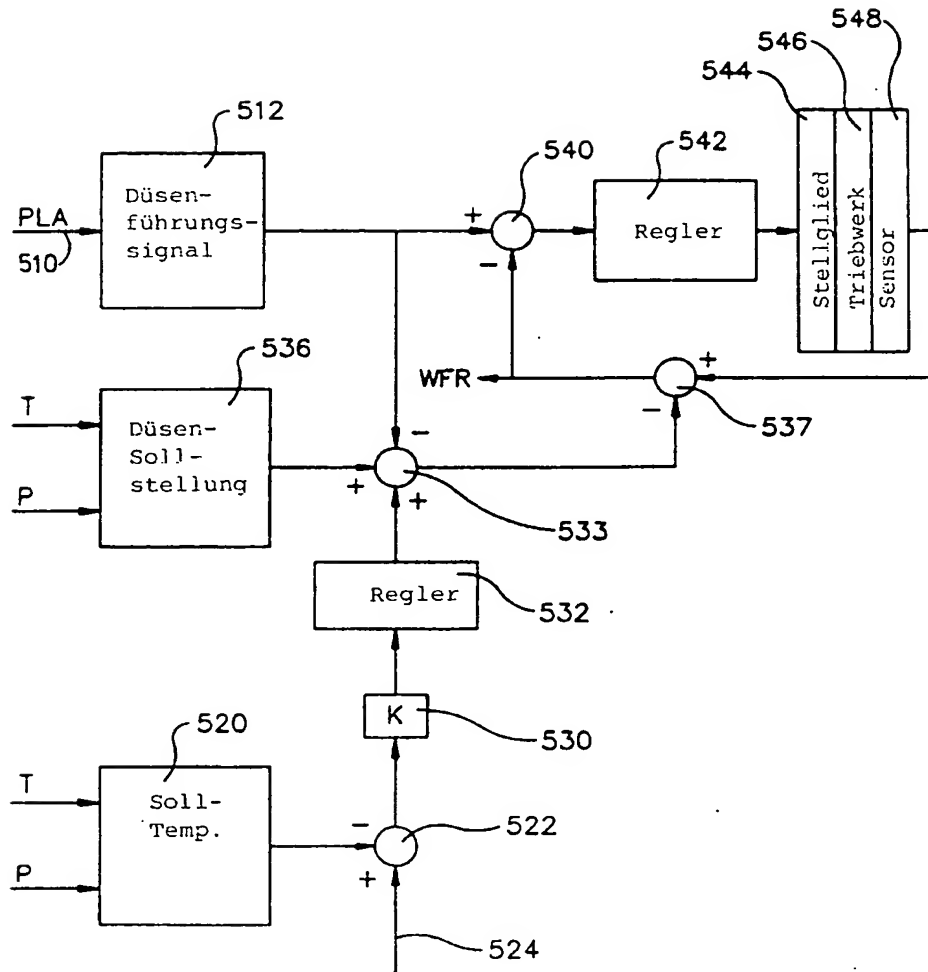


FIG. 5